

**Corso di**

---

**IMPIANTI TECNICI per l'EDILIZIA**

**Stima dei carichi termici estivi**



Prof. Paolo ZAZZINI  
Dipartimento INGEO  
Università "G. D'Annunzio" Pescara  
[www.lft.unich.it](http://www.lft.unich.it)

**Carichi termici:** Flussi termici **sensibili e latenti** che l'impianto di climatizzazione deve **smaltire** per assicurare all'interno degli ambienti da climatizzare **condizioni termo-igrometriche ottimali** durature nel tempo.

La stima dei carichi termici estivi **non può essere effettuata in regime stazionario** (come il calcolo delle dispersioni termiche invernali) poiché:

Le **oscillazioni termiche** esterne influiscono significativamente sulle condizioni interne essendo la **temperatura esterna più vicina** a quella **interna** di quanto non avvenga in inverno

Gli **apporti interni** (persone, macchine, impianto di illuminazione...), che sono a carattere fortemente transitorio, hanno un **peso significativo** nel computo globale dei carichi termici

Un metodo rigoroso per la stima dei carichi termici richiederebbe la **soluzione in regime variabile dell'equazione di bilancio termico dell'aria ambiente**

In ogni istante si deve verificare la seguente uguaglianza:

$$Q_h + Q_v + Q_i + Q_p = 0$$

$Q_h$  = scambi convettivi con le pareti

$Q_v$  = scambi termici dovuti alla ventilazione o alle infiltrazioni d'aria

$Q_i$  = carichi termici interni

$Q_p$  = potenza termica convettiva dovuta all'impianto (incognita da determinare)

**L'equazione scritta è indeterminata** ( $n^\circ$  incognite  $>$   $n^\circ$  equazioni) poiché in essa **risultano incognite, oltre la temperatura dell'aria ambiente, le temperature superficiali delle varie pareti** con cui l'aria scambia calore

Per risolvere il problema analiticamente è necessario scrivere **altre equazioni** (in numero pari al numero di superfici che delimitano l'ambiente) che legano le **temperature superficiali** alle **condizioni al contorno**, considerando gli **scambi convettivi radiativi e conduttivi** che interessano ciascuna parete in regime variabile nel tempo.

La **determinazione** delle suddette potenze termiche è **molto complessa**, soprattutto per ciò che riguarda il termine conduttivo, che può essere calcolato solo **con metodi numerici di non facile soluzione**.

Metodi di valutazione complessi: non esistono norme di riferimento in Italia che indichino una procedura rigorosa

Per questa ragione si adottano generalmente **metodi semplificati per la determinazione dei carichi termici:**

**Metodo dei fattori di accumulo**

**Metodo ASHRAE**

**Metodo CARRIER**

Il calcolo dei carichi termici deve essere fatto nelle **condizioni ambientali più sfavorevoli**: nel calcolo manuale in genere si considera una giornata di **luglio**.

Il calcolo automatico con **codici di calcolo** dedicati conduce a **risultati più accurati**

**Carichi termici sensibili:** Apporti di calore che tendono ad innalzare la temperatura dell'aria interna.

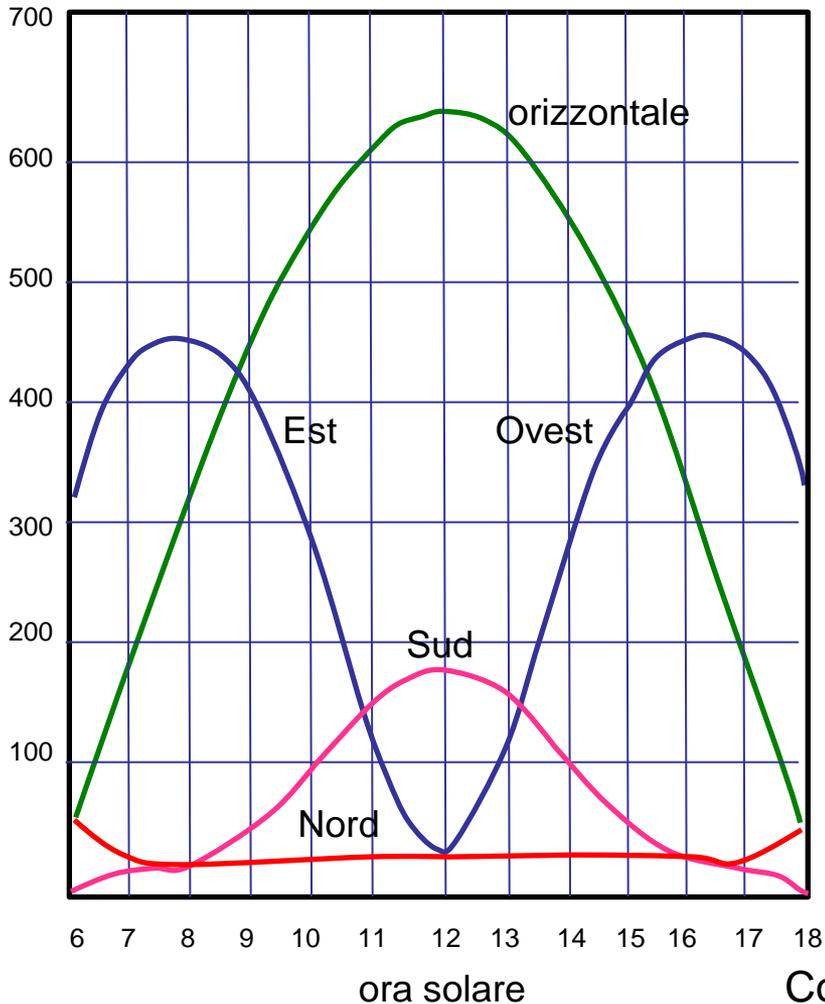
1. **Radiazione solare entrante** attraverso le superfici trasparenti
2. **Carico termico entrante attraverso l'involucro edilizio** per il  $\Delta T$  tra interno ed esterno
3. **Calore prodotto all'interno** per la presenza di apparecchi di illuminazione, persone, macchine, elettrodomestici
4. **Infiltrazioni d'aria dall'esterno** a temperatura più elevata di quella interna

**Carichi termici latenti:** Calore latente di condensazione necessario per eliminare dall'ambiente il vapore acqueo in eccesso

1. **Fenomeni fisiologici** delle persone presenti (respirazione, sudorazione...)
2. **Processi o attività lavorative con produzione di vapore** che hanno luogo all'interno dell'ambiente (cottura di cibi, asciugatura di panni, lavorazioni industriali o artigianali ...)
3. **Infiltrazioni di aria dall'esterno** con un contenuto igrometrico più elevato di quello interno

## Radiazione solare attraverso le superfici vetrate

23 Luglio 40° lat. NORD



Componente **diretta** (proveniente dal sole) e componente **diffusa** (proveniente dalla volta celeste)

*Dipende da:*

**Latitudine** del luogo in cui è ubicato l'edificio

**Ora, giorno e mese** considerati

**Esposizione** della superficie irraggiata

La **superficie orizzontale** è quella che risente di più della radiazione entrante in termini di **intensità massima** e di **durata giornaliera** della radiazione stessa e comporta per questo il **carico energetico massimo** entrante rispetto a qualsiasi superficie verticale per la quale l'intensità e la durata della radiazione giornaliera sono di minore entità

Costituisce il **carico termico più pesante!**

Anche **nell'arco** temporale **di un anno** il **carico termico** raggiante entrante attraverso una superficie orizzontale è il **più pesante** sia in termini di intensità che di durata

Sono **da preferirsi**:

Superfici **vetrate verticali** anziché orizzontali

Superfici vetrate **verticali orientate a SUD** quando l'apporto termico è desiderabile almeno in inverno

Superfici vetrate verticali orientate a **NORD** quando è sempre indesiderabile

Le radiazioni entranti attraverso le superfici vetrate **producono**:

**Innalzamento della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante**

**Danni agli oggetti sensibili alle radiazioni visibili ed U.V.** (dipinti, superfici colorate di oggetti esposti in vetrina...)

**Abbagliamento visivo**

Una **parte della superficie** considerata può essere **ombreggiata** a causa di schermi esterni verticali od orizzontali. Le superfici in ombra risultano soggette alla **sola radiazione diffusa** (equivalente all'esposizione a **Nord**)

**SCHERMO:** qualsiasi **elemento** atto ad **impedire** totalmente o parzialmente **l'ingresso di radiazioni solari** (elementi strutturali, aggetti, balconate, sporgenze, edifici, murature o pareti verdi adiacenti alla superficie considerata )

Le **schermature esterne** sono molto **più efficaci** di quelle interne perché respingono le radiazioni prima che incidano sulla superficie vetrata, mentre gli **schermi interni** possono generare le condizioni per la formazione di un **micro-effetto serra** tra la finestra e lo schermo

Per le **superfici verticali** orientate a **sud** le **schermature orizzontali** risultano più efficaci contro le radiazioni estive caratteristiche delle ore centrali della giornata (più calde)

Gli **schermi verticali** risultano più utili per orientamenti **Est, Sud-Est, Ovest, Sud-Ovest**

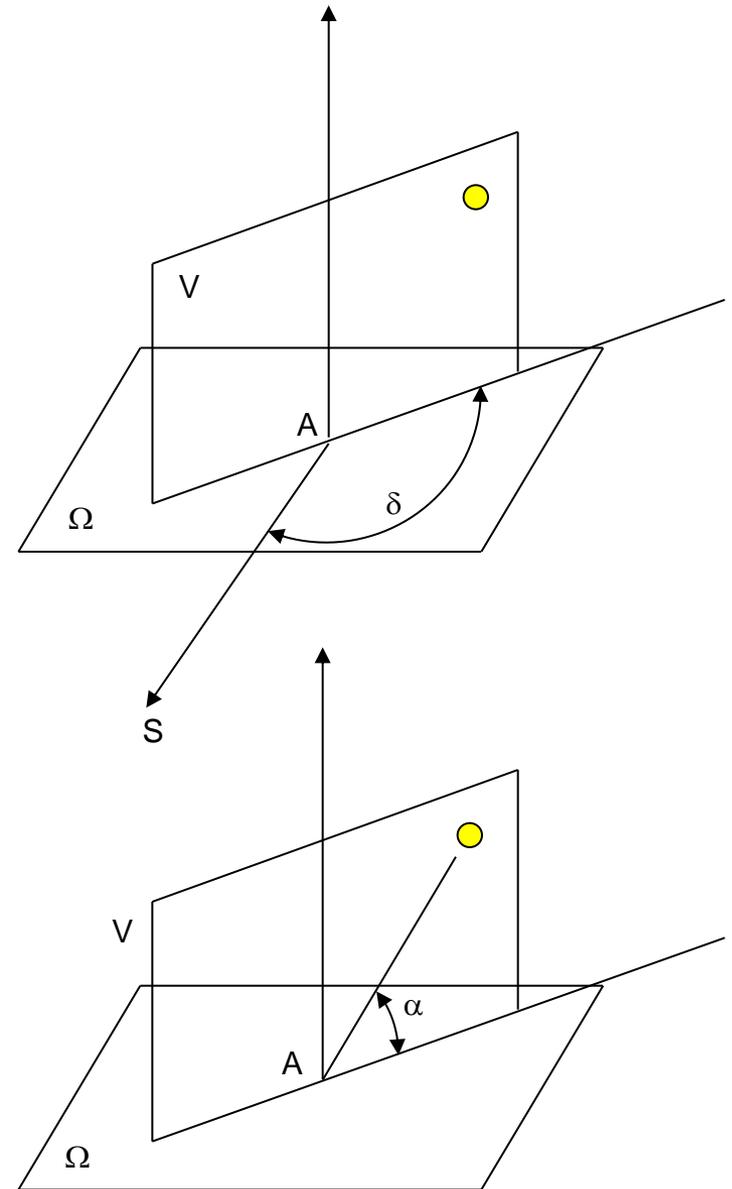
In alcuni casi risultano utili gli **schermi verticali vegetali** che aggiungono all'azione ombreggiante un **raffrescamento** aggiuntivo dell'aria per **evaporazione** e **traspirazione** delle foglie

In particolare **siepi ed arbusti**, essendo caratterizzati dalla base della chioma vicina al suolo, sono utilizzabili come **schermi a parete** con funzione di **barriera anche alla radiazione riflessa dal terreno** mentre gli alberi sono utilizzabili come schermi di copertura

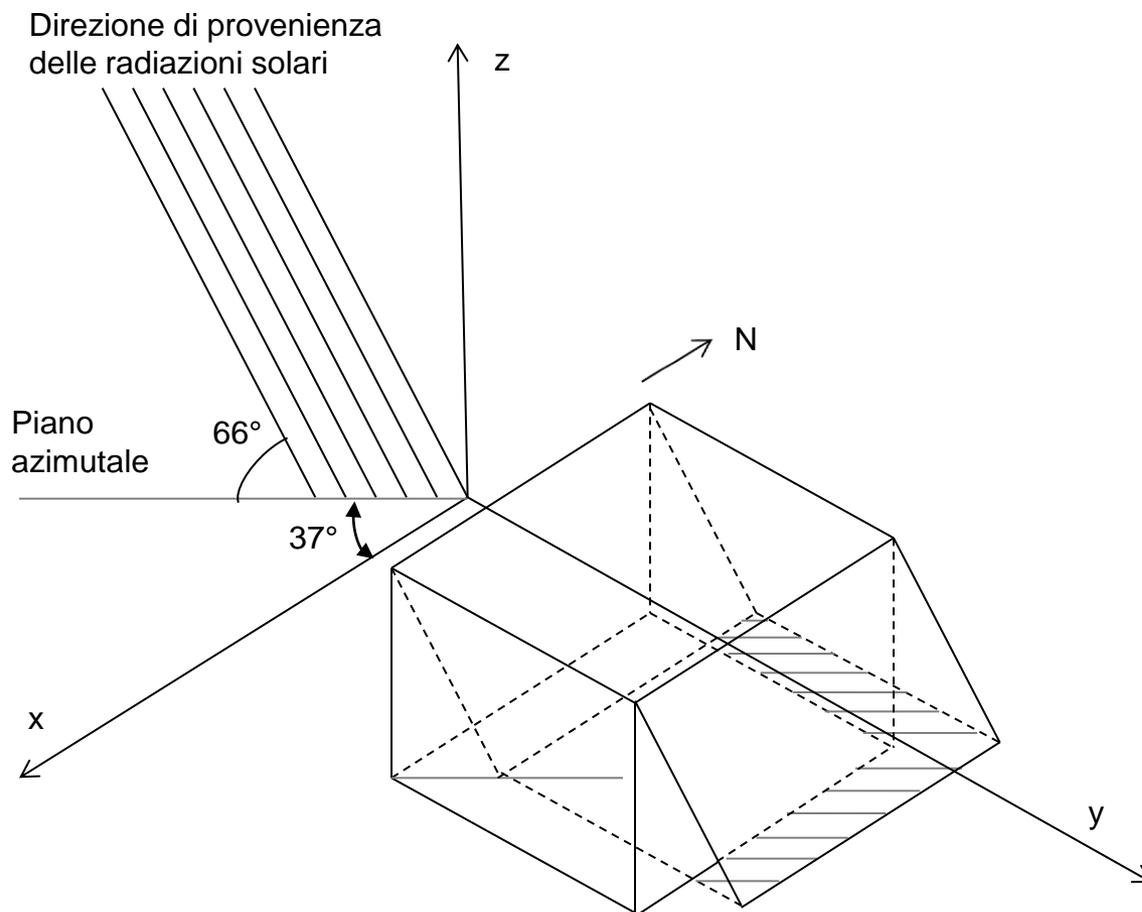
## Coordinate solari

**AZIMUT  $\delta$** : angolo, sul **piano orizzontale  $\Omega$** , formato dalla **direzione Sud** e dalla **traccia**, sullo stesso piano  $\Omega$ , del **piano verticale** passante **per il sole e per il punto A** considerato

**ALTEZZA  $\alpha$** : angolo, sul **piano verticale V**, tra la **traccia di V sul piano orizzontale  $\Omega$**  e la **direzione che unisce il punto A al sole**



**La conoscenza delle coordinate solari consente di determinare ombre proiettate dall'edificio sul terreno**



**23 Luglio – ore 13.00**

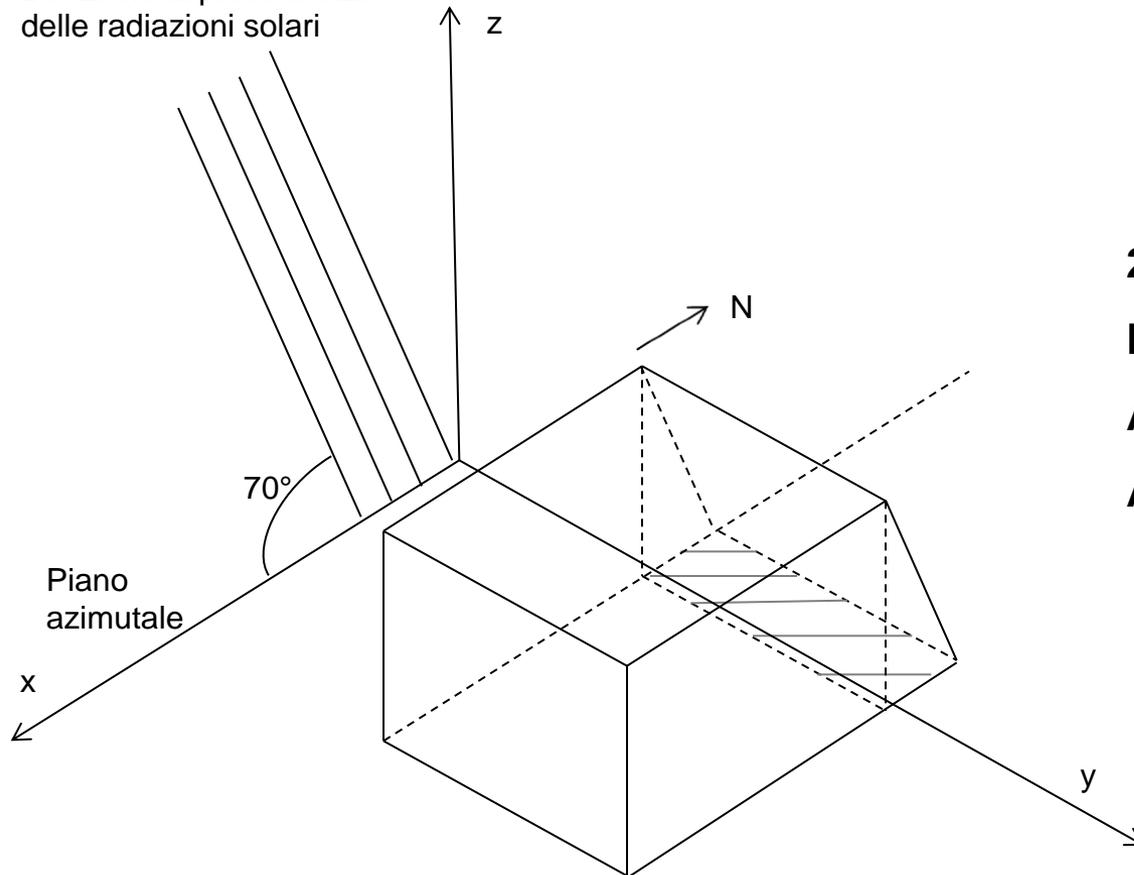
**Latitudine 40° Nord**

**Azimut: 37°**

**Altezza 66°**

Il piano azimutale risulta ruotato di 37° rispetto al piano x-z

Direzione di provenienza  
delle radiazioni solari



**23 Luglio – ore 12.00**

**Latitudine 40° Nord**

**Azimut: 0°**

**Altezza: 70°**

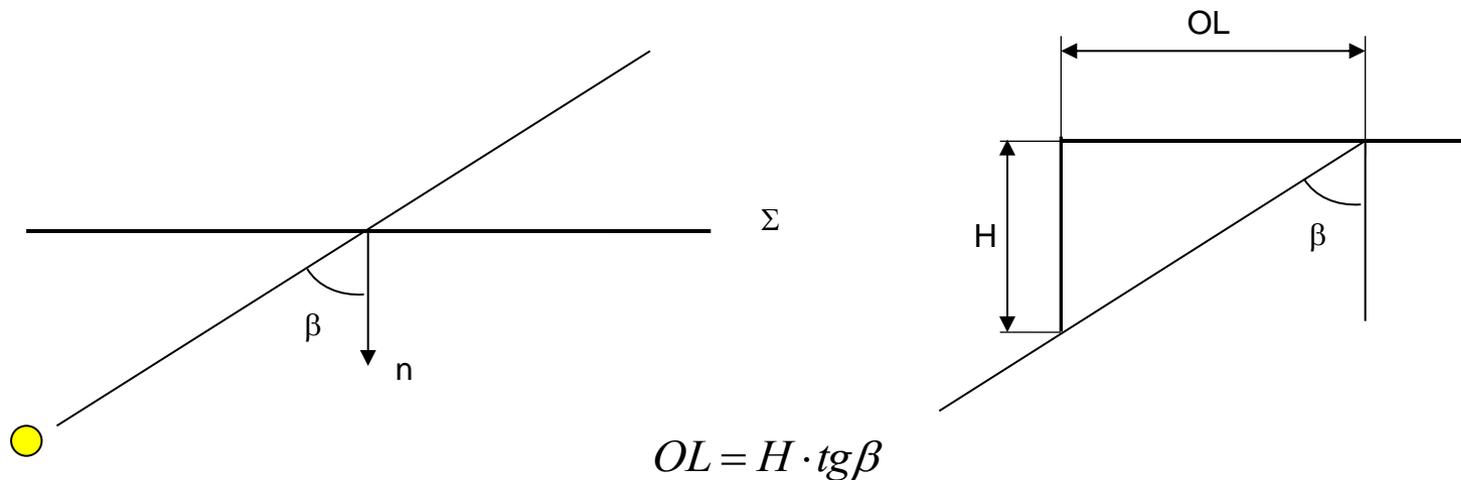
Il piano azimutale coincide con il piano X-Z

## Determinazione delle ombre portate su una superficie verticale

**Azimut di una superficie verticale  $\beta$** : angolo formato sul piano orizzontale tra la normale alla superficie verticale  $\Sigma$  e la traccia sul piano orizzontale stesso del piano verticale  $V$  che contiene il sole ed il punto A considerato.

La conoscenza dell'angolo  $\beta$  consente di determinare l'entità dell'ombra laterale prodotta da una parete verticale perpendicolare alla superficie irraggiata

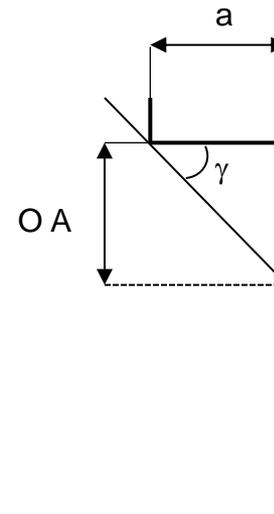
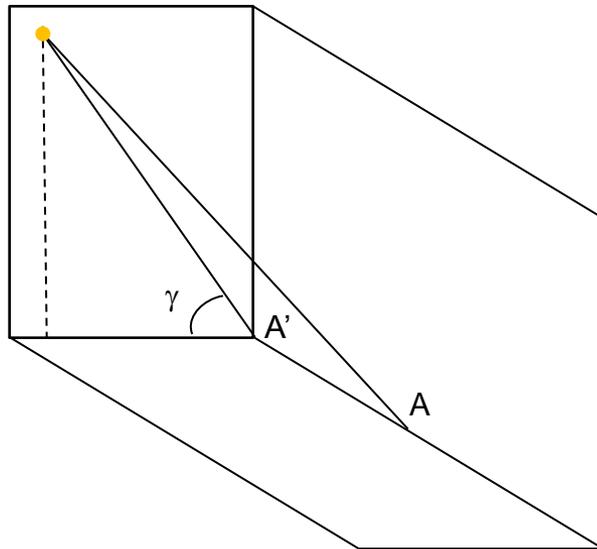
**OL**: ombra laterale prodotta da una parete verticale di profondità  $H$



**Altezza relativa ad una superficie verticale  $\gamma$ :** angolo, sul piano verticale che contiene il sole ed è normale a  $\Sigma$ , tra A'S e la traccia del piano orizzontale su tale piano verticale.

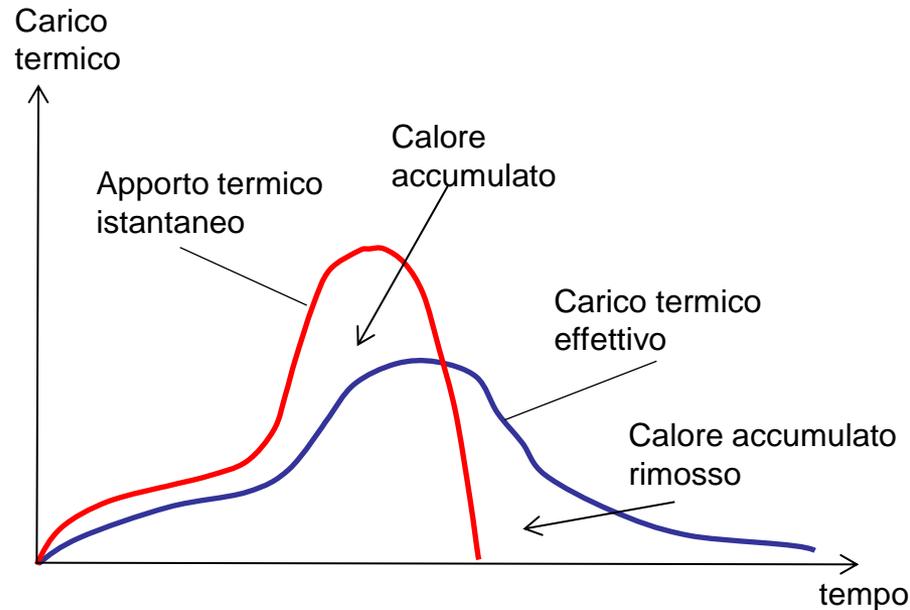
La conoscenza dell'angolo  $\gamma$  consente di determinare l'ombra portata da un oggetto sporgente orizzontale sulla superficie irraggiata

**O A:** ombra dall'alto portata da un oggetto sporgente orizzontale di profondità  $a$



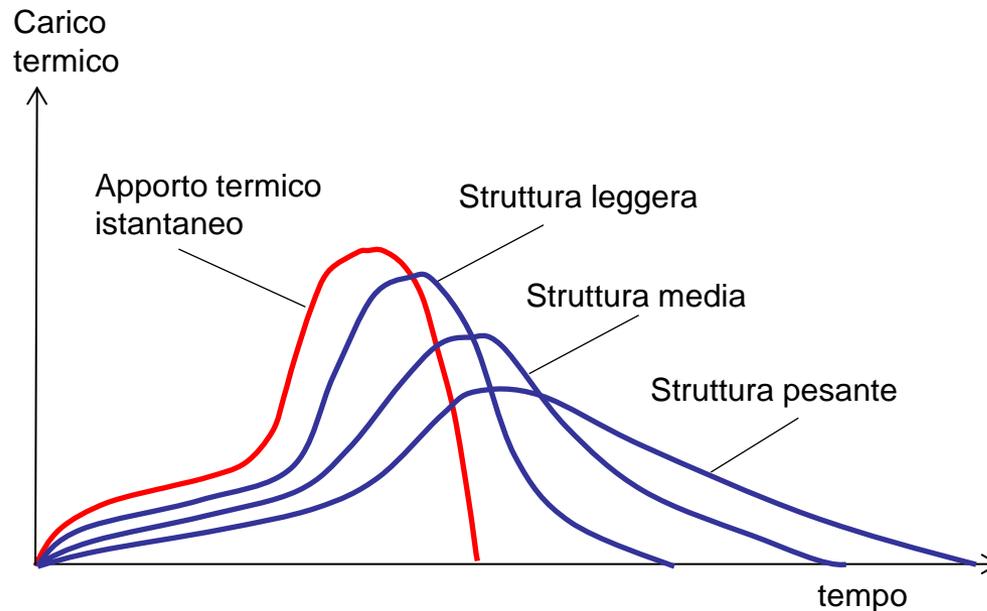
$$OA = a \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

Il *calore entrante attraverso le superfici vetrate* viene **assorbito dalle superfici opache** dell'ambiente che **lo restituiscono ritardato ed attenuato** in funzione della loro inerzia termica



Nel metodo del fattore di accumulo, tale carico viene determinato moltiplicando il carico massimo istantaneo (tabulato) per il **fattore di accumulo** che è dato in funzione delle **caratteristiche inerziali della parete**

Il **ritardo** e l'**attenuazione** sono tanto più **accentuati** quanto più **pesante** è la struttura

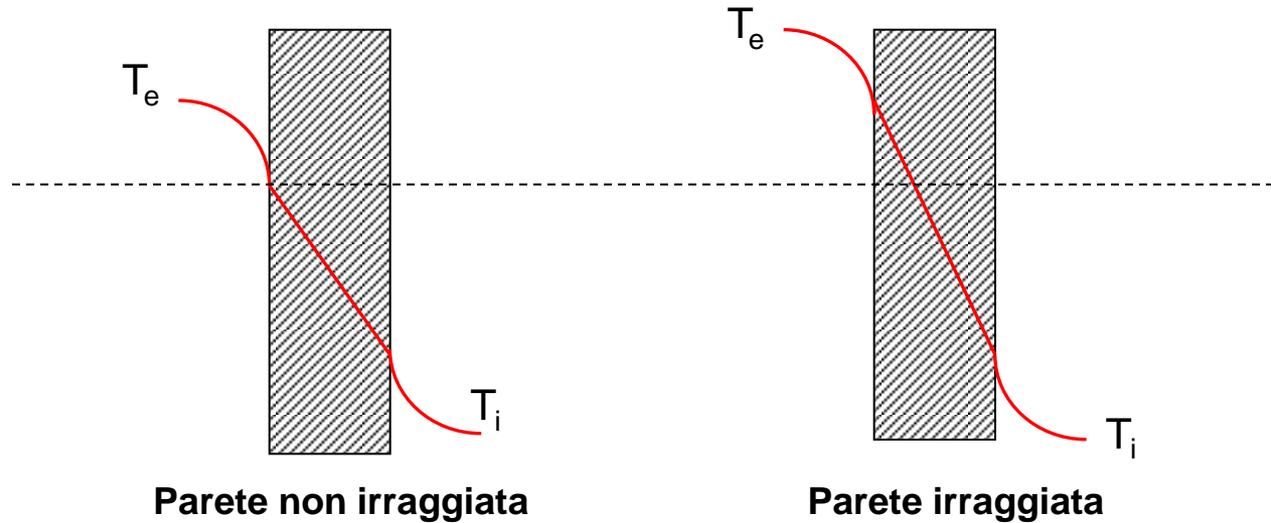


La pesantezza della parete si indica di solito con la **densità superficiale**, anche detta **massa areica**, espressa in  $\text{kg/m}^2$

## Carichi termici attraverso le superfici opache

Ingresso di calore dovuto alla **differenza di temperatura tra l'esterno e l'interno dell'edificio**

L'irraggiamento termico provoca un **innalzamento della temperatura superficiale esterna della parete** irraggiata rispetto alla stessa parete considerata in assenza di irraggiamento (**temperatura fittizia al sole**)



L'aumento di temperatura superficiale esterna è **equivalente ad una situazione fittizia con una temperatura dell'aria più elevata** di quella reale che produce un  $\Delta T$  **equivalente** che moltiplicato **per l'area e per la trasmittanza della parete** considerata fornisce il carico termico cercato

Il  $\Delta T_{eq}$  dipende dall'**esposizione** della parete e della sua **massa areica**

Un impianto di climatizzazione deve essere in grado di **smaltire** sia i **carichi sensibili** che quelli **latenti**.

Il **primo** contributo di solito è **più importante** del secondo

Il **calore sensibile** si ha per effetto della **radiazione solare**, della **differenza di temperatura** esterno-interno e dei **carichi interni**, mentre il **calore latente** deriva dall'apporto di **vapore** dovuto alle **persone** ed alle **attività** svolte nell'ambiente.

**L'aria di rinnovo** apporta **calore sensibile e latente** (temperatura elevata ed elevato contenuto di vapore)

La **somma dei carichi sensibili e latenti** costituisce il **carico totale** che l'impianto deve essere in grado di smaltire.

**Metodo** approssimato **CARRIER** (sufficientemente preciso soprattutto per i piccoli ambienti)

### 1. Carico entrante attraverso le finestre

Esposizione	Carico unitario (q)		Superficie S (m <sup>2</sup> )	Fattore correttivo F <sub>c</sub>		Carico (q x S x F <sub>c</sub> )
	0 - 0,6	0,6 - 1,2		Mancata presenza di tende o persiane	Doppi vetri	
	Sporgenza (m) di tetto o balcone sovrastante					
	0 - 0,6	0,6 - 1,2				
<b>N/S</b>	<b>75</b>	<b>75</b>		<b>1,17</b>	<b>0,8</b>	
<b>NE/NO</b>	<b>132</b>	<b>110</b>		<b>1,17</b>	<b>0,8</b>	
<b>E/O</b>	<b>167</b>	<b>142</b>		<b>1,17</b>	<b>0,8</b>	
<b>SE/SO</b>	<b>145</b>	<b>108</b>		<b>1,17</b>	<b>0,8</b>	

## 2. Carico entrante attraverso i muri esterni

	Carico unitario (q)		Superficie S (m <sup>2</sup> )	Fattore correttivo F <sub>c</sub>					Carico (q x S x F <sub>c</sub> )
	Sporgenza (m) di tetto			Parete sempre in ombra	Colori chiari	Spessore isolante 25 mm	Spessore isolante 50 mm	Spessore isolante 100mm	
	0-0,6	0,6-1,2							
<b>Muratura pesante</b>	<b>22</b>	<b>17</b>		<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>0,5</b>	<b>0,33</b>	<b>0,25</b>	
<b>Muratura leggera</b>	<b>37</b>	<b>29</b>		<b>0,5</b>	<b>0,75</b>	<b>0,5</b>	<b>0,33</b>	<b>0,25</b>	

## 3. Carico entrante attraverso pareti verso locali non climatizzati

	Carico unitario (q)	Superficie S (m <sup>2</sup> )	Fattore correttivo F <sub>c</sub>	Carico (q x S x F <sub>c</sub> )
			Isolamento (spessore 25 mm)	
<b>Muratura</b>	<b>8</b>		<b>0,5</b>	
<b>Legno</b>	<b>5</b>			

#### 4. Carico entrante attraverso il tetto soleggiato

Spessore isolante (m)	Carico unitario (q)					Superficie S (m <sup>2</sup> )	Fattore correttivo F <sub>c</sub>		Carico (q x S x F <sub>c</sub> )
	0	0,25	0,5	0,1	0,15		Attico ventilato	Tetto bianco o con lastre riflettenti	
<b>A falde con soffitto</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>		<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	
<b>Piano con soffitto</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>				
<b>Tetto senza soffitto</b>	<b>43</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>8</b>				

Usare l'area del soffitto per il calcolo dell'area del tetto a falde.

#### 5. Carico entrante attraverso pavimento e soffitto

	Carico unitario (q)	Superficie S (m <sup>2</sup> )	Carico (q x S)
<b>Su terra</b>	<b>0</b>		
<b>Su locale non condizionato</b>	<b>5</b>		
<b>Esposto</b>	<b>7</b>		

<b>6. Carichi interni</b>	
	<b>Carico</b>
Persona in quiete	<b>80-100 (W)</b>
Persona in movimento	<b>150-200 (W)</b>
Illuminazione a incandescenza	<b>10-15 (W/m<sup>2</sup>)</b>
Illuminazione con lampade alogene	<b>25-40 (W/m<sup>2</sup>)</b>
Televisore	<b>150-250 W</b>
Impianto HI-FI	<b>150-200 W</b>
Frigorifero	<b>400-800</b>
Forno	<b>1000-1500 W</b>
Asciugacapelli con ventilatore	<b>1500 W</b>

A questo punto **si sommano i carichi dei punti da 1 a 6** ottenendo un **sub-totale  $Q_6$** , che dovrà essere **moltiplicato per il fattore di temperatura esterna**

<b>Fattore di temperatura esterna</b>					
Escursione termica giornaliera	Temperatura normale pomeridiana				
	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	0,81	1,17	1,5	1,77	2,15
<b>10</b>	0,67	1,03	1,36	1,63	2,01
<b>15</b>	0,53	0,89	1,23	1,5	1,87
<b>20</b>	0,39	0,75	1,09	1,27	1,73
<b>25</b>	0,26	0,62	0,95	1,21	1,58

**Calore sensibile  $Q_s$ :  $Q_6 \times$  fattore di temperatura esterna**

Il **carico latente** non viene calcolato esplicitamente, ma se ne tiene conto **maggiorando il carico sensibile** mediante un fattore detto di umidità esterna

<b>Fattore di umidità esterna</b>	
Località tropicali	1,33
Località temperate	1,25
Località aride o secche	1,18

**Carico totale  $Q_t$ :**  $Q_s \times$  fattore di umidità esterna

Infine si può stimare la **portata d'aria trattata** moltiplicando il carico totale per il fattore portata d'aria seguente

<b>Fattore portata d'aria</b>	
Un piano con tetto sovrastante	0,24
Un piano con spazio occupato sovrastante	0,22
Piani intermedi	0,21

**Portata d'aria ( $m^3/h$ ):**  $Q_t \times$  fattore portata d'aria